

RODRÍGUEZ, G. A. 2011. Proyectos y conflictos en relación con la consulta previa. *Revista Opinión Jurídica*, 10.

RODRÍGUEZ, G. A., & MUNOZ AVILA, L. M. 2009. La Participación En La Gestión Ambiental: Un Reto Para El Nuevo Milenio (The Participation for Environmental Management: A Challenge for the New Millennium). Available at SSRN 2592982.

STEER, R., ARIAS-ISAZA F., RAMOS A., SIERRA-CORREA P., ALONSO D., OCAMPO P. 1997. *Documento base para la elaboración de la Política Nacional de Ordenamiento Integrado de las Zonas Costeras Colombianas*. Documento de consultoría para el Ministerio del Medio Ambiente. Serie publicaciones especiales No.6 390 p.

WALSH, K. 2010. Interculturalidad crítica y educación intercultural. En Viaña, J. Tapia, L. Walsh, K. (Eds.) *Construyendo Interculturalidad Crítica*. La Paz: Instituto Internacional de Integración del Convenio Andrés Bello. P. 75-96.

Utilización de cáscaras de frutas para minimizar el impacto ambiental por metales pesados en aguas residuales industriales

Dora Luz Gómez Aguilar¹

RESUMEN

Las cáscaras de frutas pueden ser utilizadas como bioadsorbentes (materiales orgánicos vivos o inertes, en el cual en su superficie se adhiere iones como los metales pesados). Los metales pesados, se encuentran frecuentemente en las aguas residuales industriales y presentan una amenaza no sólo para la vida acuática (bioacumulación) sino también en la cadena alimentaria a lo largo de la cual se acumulan a una mayor concentración (biomagnificación) y no se degradan por ningún método. La propuesta de los bioadsorbentes con cáscaras de frutas consiste en la remoción de metales pesados y la disminución de gases efecto invernadero; ya que, la descomposición de los bioadsorbentes como un residuo sólido no peligroso por presentar un alto contenido de materia orgánica en condiciones aeróbicas o anaeróbicas producen gases como metano y dióxido de carbono. El primero, con un potencial de calentamiento global en un horizonte de 100 años de veintitrés con respecto a uno del dióxido de carbono.

Palabras clave: Bioadsorbentes, Metales Pesados, GEI, Residuo sólido no peligroso.

The use of fruit peels to minimize the environmental impact of heavy metals in industrial wastewater

ABSTRACT

Fruit peels can be used as bio adsorbents (alive or inert organic materials, which allow ions to adhere to its surface as heavy metals). They are often found in industrial wastewater and represent a threat not only to the aquatic life (bioaccumulation) but also to the food chain in which a greater concentration is accumulated (bio magnification) which is not degradable by any method. The proposal of the bioadsorbentes with fruit peels consists in the removal of heavy metals and the reduction of greenhouse gases; due to the decomposition of the bioadsorbentes like a harmless solid waste, which presents a high content of organic matter in aerobic or anaerobic conditions, produces gases such as methane and carbon dioxide. The first, with a global warming potential in a horizon of 100/23 with respect to one of carbon dioxide.

KEY WORDS: bio adsorbents, heavy metals, harmful solid waste, gei.

Fecha de recepción: Diciembre 3 de 2015. Fecha de aceptación: Enero 20 de 2016.

Modelo de citación:

GÓMEZ AGUILAR, Dora Luz. UTILIZACIÓN DE CÁSCARAS DE FRUTAS PARA MINIMIZAR EL IMPACTO AMBIENTAL POR METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES. Revista Asuntos Económicos y Administrativos No.30, primer semestre 2016. ISSN 0124-1133. Universidad de Manizales.

- 1 Docente de la Universidad Pedagógica Nacional Sede Bogotá (Colombia). Estudiante de Doctorado en Desarrollo Sostenible Universidad de Manizales. Calle 72 No.11-86 Universidad Pedagógica Nacional. Departamento de Química. Bogotá (Colombia). doralgomez@gmail.com

Introducción

“El agua en Colombia y en el mundo es uno de los recursos naturales más contaminados. En los últimos años se ha registrado un aumento progresivo de la presencia de metales pesados en aguas residuales como consecuencia de su uso extensivo en diversos procesos químicos a escala industrial” (TEJADA: 2014:86)

“La liberación de los efluentes que contienen estos iones metálicos supone una amenaza no sólo para la vida acuática, sino también a la cadena alimentaria, a lo largo de la cual se acumulan a una mayor concentración, y no se degradan por ningún método. La toxicidad de los metales pesados se puede analizar desde diferentes puntos de vista: toxicidad a largo plazo; transformación a formas más tóxicas; biomagnificación, entre otras” (TEJADA: 2012: 12).

Entre los elementos más estudiados en las últimas décadas se hallan: El Molibdeno (Mo), boro (B), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobalto (Co), níquel (Ni), cobre (Cu), plomo (Pb), mercurio (Hg), cromo (Cr), cadmio (Cd), selenio (Se) y arsénico (As). Elementos como: Fe, Mn, Mo, Cu y Zn se consideran esenciales para el crecimiento y funcionamiento de humanos, animales y plantas. Pero elementos como: “mercurio y el cadmio, no son esenciales para ningún organismo, siendo estos, considerados por la Agencia de Protección al Medio Ambiente de los Estados Unidos como los elementos de mayor potencialidad tóxica aún en concentraciones reducidas”. (VALLEJO, 2008 citado en TEJADA: 2012: 12).

“El control de los vertidos de metales pesados y la eliminación de tóxicos metales pesados de soluciones acuosas se ha convertido en una reto para el siglo XXI” (VOLESKY: 2001:204).

Por esta razón, para poder remover estos metales pesados presentes en agua, suelo o aire se emplean técnicas convencionales que son eficientes en un 99%, pero presentan un costo elevado en la instalación y mantenimiento. Adicionalmente, los lodos que se obtiene durante el tratamiento son altamente contaminados. Por lo anteriormente planteado, se propone el empleo de bioadsorbentes provenientes de residuos agrícolas cáscaras de frutas, las cuales han tenido un porcentaje de eficiencia alto y son de bajo costo. Algunos autores, especifican que no es necesario regenerarlos después de su interacción con los vertidos industriales, pero otros plantean el fenómeno de “la desorción del metal con el bioadsorbente para proveer un máximo número de ciclos de este: biosorción-regeneración” (HIGUERA, 2009:64).

También cabe indicar, que es muy importante utilizar estos residuos agrícolas; ya que, son considerados residuos sólidos no peligrosos, con un alto contenido de materia orgánica (mayor al 50%) y que al presentar una descomposición microbiana en condiciones aeróbicas o anaeróbicas producen biogás. "El biogás generado está compuesto principalmente de metano y de dióxido de carbono, gases que pueden contribuir de manera importante a la aportación de gases efecto invernadero e incrementar el calentamiento global del planeta" (KOFALUSI: 2006: 40), en una proporción de 1 de dióxido de carbono a veintitrés de metano a nivel potencial de calentamiento global en un horizonte de cien años. "De acuerdo a cálculos teóricos, una tonelada de residuos sólidos urbanos puede generar hasta 223 m³ de biogás" (SEDESOL 2005 citado en KOFALUSI: 2006: 50)

A su vez, al alto porcentaje de materia orgánica proveniente de los residuos agrícolas podrían favorecer la presencia de roedores, insectos y aves de carroña, los cuales originarían presencia de enfermedades y epidemias. A su vez, la mala disposición de estos residuos originaría un impacto estético negativo en el paisaje afectando de esta manera a la población que vive en la zona.

Generalidades de los metales pesados

"Se definen como metales pesados aquellos elementos químicos que presentan elementos químicos que presentan una densidad igual o superior a 5 g/cm³ cuando están en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo los metales alcalinos y alcalinotérreos), son tóxicos para la célula. Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0,1% y casi siempre menor al 0,01%". (NÁVARRO et al. 2007:1).

Los metales pesados están presentes actualmente en suelos, aguas (subterráneas y superficiales) y aire (fenómeno de combustión), provienen de procesos naturales y especialmente de actividades antropogénicas.

"Para lograr un tratamiento económicamente eficaz de aguas residuales contaminadas con metales pesados, diversos materiales de bajo costo han sido investigados en todo el mundo como en la India, Tailandia, Nigeria, Italia y EE.UU." (KURNIAWAN: 2006:410). Entre estos materiales se encuentran: "Materiales sintéticos y naturales: Carbón activado, nanotubos de carbono, materiales biológicos, zeolitas, mezclas entre materiales, como quitosano y nanotubos de carbono, residuos industriales y agrícolas como residuos de frutas y hojas. Estos dos últimos materiales, están disponibles en grandes cantidades que una vez

agotados pueden ser desechados sin tener que proceder a regenerarlos” (TEJADA: 2014: 87).

Bioadsorbentes

“La biadsorción es un fenómeno físico mediante el cual, el sólido se adhiere a la superficie de materiales orgánicos vivos o inertes, este proceso se caracteriza por la unión rápida y reversible de ciertos iones a la superficie del bioadsorbente. Es una tecnología alternativa, eficiente y de bajo costo para la remoción de metales pesados en afluentes acuosos, permitiendo la reutilización de residuos procedentes de procesos industriales o agrícolas”. (TEJADA 2012: 13).

Entre los mecanismos de bioadsorción (VALLEJO 2008 citado en TEJADA 2012:13) se encuentran los siguientes: Complejación o quelación, Adsorción Física, Intercambio Iónico y Precipitación.

Por otro lado, entre las ventajas que presentan los bioadsorbentes agrícolas de desecho (AWBs) se encuentran: “Su fuerte afinidad y alta selectividad hacia los metales pesados debido a la abundante disponibilidad de grupos de unión en la superficie AWBs. Suelen ser de bajo costo, debido a que se genera a partir de la adquisición abundante de materiales de origen agrícola fáciles. Pueden ser procesados fácilmente, sin impactos adversos sobre el medio ambiente.”. (NGUYEN T, et al 2013:4).

Calentamiento global

“Se entiende por calentamiento global y cambio climático a un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (COLOMBIA, 1994).

“El calentamiento global es actualmente un tema ampliamente discutido en la que las opiniones varían en gran medida. Por un lado, hay climatólogos, que están convencidos de que el calentamiento global conducirá a una catástrofe climatológica. Por otro lado, algunas referencias dicen que la temperatura es el cambio causado por las fluctuaciones naturales del clima. Numerosos modelos ya se han desarrollado para calcular los efectos de la influencia humana sobre el clima, éstos modelos son a menudo muy complejos y difíciles de entender, debido a la discusión difícil de alcanzar sobre la relación entre las propiedades de las capas

de la atmósfera y el comportamiento de la radiación donde participan los gases tales como vapor de agua y dióxido de carbono" (SPECHT E, et al 2016:1).

Entre los gases de efecto invernadero (GEI) que contribuyen al calentamiento global del planeta se encuentran: El metano (CH_4), el dióxido de carbono CO_2 , el óxido nitroso (N_2O), hexafluoro de azufre (SF_6), Hidrofluoroclorocarbonos (HFC) y los Perfluorocarbonos (PFC). Los dos primeros, son los que presentan un mayor impacto, especialmente el metano el cual presenta un potencial de calentamiento global en un horizonte de 100 años de 23 con respecto a 1 del dióxido de carbono. Cabe indicar, que en el Protocolo de Kyoto de 1997 fue el primero en convocar a diferentes países en la toma de decisiones políticas para establecer medidas en cada país de lograr la reducción de GEI. Por esta razón, en la cumbre mundial de cambio climático COP 21 realizado en París en 2015 donde asistieron 195 países se concluyó que es necesario mantener el aumento de la temperatura en este siglo muy por debajo de los 2 grados centígrados.

Bioadsorbentes con cáscaras de frutas

A continuación se reporta una revisión de 32 artículos científicos indexados, de los cuales 30 aparecen en la base de datos de Science Direct durante 2000 a 2016, que hacen referencia a las cáscaras de frutas que han sido utilizadas para remover diferentes metales pesados y los otros dos artículos científicos (NETZAHUATL A., CRISTIANI M., & CRISTIANI M., 2008 y GUPTA & BABU B., 2009;).

Tabla No. 1 Bioadsorbentes de cascara de frutas para remoción de metales pesados. Fuente: Autor

Cáscaras	Metales Removidos	Nombre del Artículo	Año Publicación	Comentario Artículo
Naranja	Ni	Adsorption studies on <i>Citrus reticulata</i> fruit peel of orange/ : removal and recovery of Ni II/ from electroplating wastewater	2000	Estudios de adsorción en la cáscara del fruto de Citrus reticulata naranja / : la eliminación y la recuperación de Ni II / desde aguas residuales de galvanoplastia
Tamarindo	Cr	Biosorption of hexavalent chromium using tamarind (<i>Tamarindus indica</i>) fruit shell-a comparative study	2007	Cáscaras activadas con ácidos oxálico y clorhídrico
Manzanas, uvas, limón, naranja y toronja	Cd	Pectin-rich fruit wastes as biosorbents for heavy metal removal: Equilibrium and kinetics.	2008	Cáscaras sin modificación, se determinó las isoterma, capacidad de adsorción.

Cáscaras	Metales Removidos	Nombre del Artículo	Año Publicación	Comentario Artículo
Naranja, Limón, Limón con pectina.	Cd	Modeling the effect of pH on biosorption of heavy metals by citrus peels	2008	Cáscaras sin modificación (Naranja y Limón) y otra parcialmente procesada con, pectina, se determinaron cada una de las isoterms.
Piña	Cr, Cu, Pb, Ni, Zn	Removal of heavy metals from contaminated sewage sludge using <i>Aspergillus niger</i> fermented raw liquid from pineapple wastes	2008	La utilización de <i>Aspergillus. niger</i> fermentado líquido crudo a partir de desechos de piña como una fuente de ácido cítrico, en la extracción de cromo (Cr), cobre (Cu), plomo (Pb), níquel (Ni) y zinc (Zn) a partir de lodos de depuradora digerido anaeróbicamente.
Naranja	Cd, Zn, Co, Ni	Preparation and evaluation of orange peel cellulose adsorbents for effective removal of cadmium, zinc, cobalt and nickel	2008	Cascara modificada y estudio de isoterms.
Mango	Cd, Pb	FTIR spectrophotometry, kinetics and adsorption isotherms modeling ion exchange, and EDX analysis for understanding the mechanism of Cd ²⁺ and Pb ²⁺ removal by mango peel waste.	2009	Estudio con cáscara modificada y no modificada, estudio de isoterms.
Granada	Pb y Cu	Removal of lead (II) and copper (II) from aqueous solution using pomegranate peel as a new adsorbent	2008	Carbon activado.
Mamey	Cr	Reducción de Cr(VI) y biosorción de cromo por la cáscara de la semilla de Mamey.	2008	Cáscaras de semillas de Mamey
Marmelo, membrillo de Bengal.	Cr	Removal of Cr (VI) from aqueous solution using Bael fruit (<i>Aegle marmelos coreia</i>) shell as an adsorbent.	2009	Carbón activado preparado a partir de cáscara de marmelo.
Naranja	Pb	Biosorption of Pb ²⁺ by original and protonated citrus peels: Equilibrium, kinetics and mechanism.	2009	Titulaciones potenciométricas para evaluar la carga de las partículas del sorbente a diferentes pHs.
Semillas de tamarindo	Cr	Utilization of waste product (tamarind seeds) for the removal of Cr(VI) from aqueous solutions: Equilibrium, kinetics, and regeneration studies.	2009	Semillas activadas con ácido sulfúrico

Cáscaras	Metales Removidos	Nombre del Artículo	Año Publicación	Comentario Artículo
Limón	Co	Adsorptive removal of cobalt from aqueous solution by utilizing lemon peel as bio-sorbent.	2010	El proceso de adsorción es exotérmico.
Banana	Pb, Cd	Removal of Pb(II) and Cd(II) from water by adsorption on peels of banana.	2010	Estudio de isotermas.
Granada	Ni	Biosorption optimization of nickel removal from water using Punica granatum peel waste.	2010	Adsorción endotérmica. Estudio de isotermas.
Mangostán	Pb, Cd, Co	Removal of Pb(II), Cd(II) and Co(II) from aqueous solution using Garcinia mangostana L. fruit shell.	2010	Mangostán pulverizado.
Naranja	Cr	Influencia del pH en la Bioadsorción de Cr(III) sobre cáscaras de naranja: Determinación de las condiciones de operación en proceso discontinuo	2010	Medición de la influencia del pH
Naranja	Cd, Cu, Pb	Adsorption/desorption of Cd(II), Cu(II) and Pb(II) using chemically modified	2012	Estudio comparativo entre cáscara de naranja modificada y no modificada.
Naranja	Cr, Fe	Biosorption of Cr(III) and Fe(III) in single and binary systems onto pretreated orange peel.	2012	Cáscara de naranja pretratada. Estudio de sistemas binarios de Cr y Fe.
Granada	Pb	Characterization of Punica granatum L. peels and quantitatively determination of its biosorption behavior towards lead(II) ions and Acid Blue 40.	2012	Cáscaras sin modificación. Estudio de isotermas.
Banano, Naranja y Limón	Pb, Cd y Cu	Biosorption of heavy metals in polluted water, using different waste fruit cortex	2012	Cáscaras sin modificación, capacidad de adsorción de cada especie y su respectivo comparativo
Mamey	Cr	Bioadsorción de Cromo (VI) por la cáscara de Mamey (Mammea americana L.)	2012	Estudio de isotermas
Pomelo	Cd y Ni	Equilibrium, kinetic, and thermodynamic studies for biosorption of cadmium and nickel on grapefruit peel.	2013	Estudio de isotermas.
Cáscara de Pomelo, Pasiflora edulis (Fruta pasión) y bagazo de caña de azúcar	Cu, Cd, Ni y Pb	Biosorption of heavy metal son Citrus maxima peel , passion fruit shell, and sugarcane bagasse in a fixed-bed column.	2014	Estudio en una columna.

Cáscaras	Metales Removidos	Nombre del Artículo	Año Publicación	Comentario Artículo
Banana, kiwi y mandarina	Cd, Cr y Zn	Water purification using different waste fruit cortex for heavy metals removal.	2015	Cáscaras pulverizadas. Estudio de isoterma.
Litchi	Pb	A novel magnetic adsorbent based on waste litchi peels for removing Pb(II) from aqueous solution.	2015	Biosorbente magnético de Litchi pulverizado mezclado con Fe_3O_4
Lima	Ni	Removal of nickel(II) from aqueous solution using Citrus Limetiioides peel and seed carbon.	2015	Cáscaras de lima activadas con ácido sulfúrico.
Mangostán	Cr	Removal of hexavalent chromium from aqueous solution by crosslinked mangosteen peel biosorbent	2015	Activado con ácido sulfúrico
Bagazo de caña de azúcar y cáscara de naranja	Pb	Removal of Pb(II) from aqueous solution by using biochars derived from sugar cane bagasse and orange peel.	2016	Pirólisis de las biomásas.
Marmelo	Cr	Preparation of microporous activated carbon from Aegle Marmelos fruit shell and its application in removal of chromium(VI) from aqueous phase.	2016	Carbon activado microporoso preparado a partir de Marmelos por activación con ZnCl_2
Papaya	Pb	Treatment of lead-contaminated water using activated-carbon adsorbent from locally available papaya peel biowaste.	2016	Carbón activado a partir de cáscaras de papaya para desechar.
Lansones	Ni	Insights into the equilibrium, kinetic and thermodynamics of nickel removal by environmental friendly Lansium domesticum peel.	2016	Estudio de isoterma.

Conclusiones

1. Se observa a través de la revisión de los artículos científicos, la importancia de seguir trabajando en el campo de los AWBs; ya que, a través de estas investigaciones se demuestra la efectividad de estos biadsorbentes, especialmente por la gran cantidad de grupos funcionales (carboxilos e hidróxilos) presentes en su composición.
2. Es necesario que cada bioadsorbente se le realice una caracterización previa de su estructura química, para poder predecir el mecanismo de adsorción con la retención de los metales pesados.
3. De los artículos científicos consultados se observa que la cascara de naranja es el biadsorbente **más empleado, con el cual se ha**

demostrado la eficiencia de remoción de metales pesados (Ni, Cd, Zn, Co, Cr (III), Cr (VI), Fe, Cu, Pb).

4. El único metal pesado que no ha sido estudiado por la técnica de biadsorción es el Mercurio, siendo éste uno de los metales con mayor impacto a nivel ambiental por la bioacumulación y biomagnificación en la cadena trófica. Por esta razón, sería muy importante realizar investigaciones en este campo.
5. Se han realizado diferentes modificaciones de los bioadsorbentes para mejorar su remoción con respecto a los metales pesados tales como: Adición de ácidos, bases, calcinación a elevadas temperaturas para obtener carbón activado o biochar, los cuales algunos de ellos han demostrado que aumentan su efectividad.
6. Es importante, plantear la posibilidad de hacer una mezcla de varios bioadsorbentes para ser empleados en la remoción de los diferentes metales pesados.
7. Es interesante resaltar como a partir del azúcar presente en las cáscaras de frutas, se pueda hacer una fermentación anaeróbica de éste, con el hongo **Aspergillus niger** para obtener el ácido cítrico el cual puede ser empleado para remover metales pesados presentes en lodos y es posible, que se pueda utilizar esta metodología para descontaminar los bioadsorbentes que remueven los metales pesados, para que luego éstos puedan ser utilizados como compostaje en suelos (fenómenos de desorción).
8. Es importante, seguir haciendo más investigación en biadsorción de metales pesados con las cascarras de **Litchi** (proveniente de China) y de los **Lansones** (proveniente de la India) los cuales sólo reportan la remoción de un metal pesado.
9. Sería interesante indagar si los bioadsorbentes pueden retener contaminantes orgánicos (plaguicidas, carbohidratos, proteínas, lípidos) debido a la composición orgánica de su estructura química, es probable que por sus fuerzas intermoleculares (Van der Waals) puedan ser retenidas y de esta manera, podrían ser utilizados en el tratamiento secundario en aguas residuales y evitar así, el uso de sustancias químicas.
10. Es importante resaltar con esta revisión que definitivamente los bioadsorbentes provenientes de diferentes cáscaras de frutas si son eficientes para la remoción de metales pesados, por esto es necesario que cada una de estas investigaciones sean implementadas mínimo como pruebas piloto en diferentes plantas de tratamiento de aguas residuales provenientes de industrias que descargan en sus aguas metales pesados, para evitar y frenar completamente cargas contaminantes por éstos elementos tóxicos a aguas superficiales y a suelos, los cuales no tenderán más a bioacumularse y biomagnificarse a través de las cadenas tróficas, evitando de esta forma diferentes tipos de enfermedades en la población.

Bibliografía

ABDELHAFEZ A., & LI J., 2016, Removal of Pb(II) from aqueous solution by using biochars derived from sugar cane bagasse and orange peel, Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, Vol. 61: 1-9.

AJMAL M., ALI KHAN R., AHMAD R., & AHMAD J., 2000, Adsorption studies on *Citrus reticulata* fruit peel of orange: removal and recovery of Ni(II) from electroplating wastewater, Journal of Hazardous Materials, Vol. 79, No. 1-2: 117-131.

AL-QAHTANI K., 2015, Water purification using different waste fruit cortex for heavy metals removal, Journal of Taibah University for Science. doi:10.1016/j.jtusci.2015.09.001

ANANDKUMAR J., & MANDAL B., 2009, Removal of Cr (VI) from aqueous solution using Bael fruit (*Aegle marmelos correa*) shell as an adsorbent, Journal of Hazardous Materials, Vol. 168, No.2-3: 633-640.

ANWAR J., SHAFIQUE U., ZAMAN W., SALMAN M., DAR A., & ANWAR S., 2010, Removal of Pb(II) and Cd(II) from water by adsorption on peels of banana, Bioresource Technology, Vol. 101, No.6: 1752-1755.

ASHTOUKHY E., AMIN N., & ABDELWAHAB O., 2008, Removal of lead (II) and copper (II) from aqueous solution using pomegranate peel as a new adsorbent, Desalination, Vol. 223, No.1-3: 162-173.

BHATNAGAR A., MINOCHA A., & SILLANPAA M., 2010, Adsorptive removal of cobalt from aqueous solution by utilizing lemon peel as biosorbent, Biochemical Engineering Journal, Vol. 48, No.2: 181-186.

BHATNAGAR A., & MINOCHA A., 2010, Biosorption optimization of nickel removal from water using *Punica granatum* peel waste, Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, Vol. 76, No.2: 544-548.

CHAO H., CHANG C., & NIEVA A., 2014, Biosorption of heavy metal ion *Citrus maxima peel*, passion fruit shell, and sugarcane bagasse in a fixed-bed column, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 20, No.5: 3408-3414.

DEL MUNDO D., & BABEL S., 2008, Removal of heavy metals from contaminated sewage sludge using *Aspergillus niger* fermented raw liquid from pineapple wastes, Bioresource technology, Vol. 6, No.99: 1682-1689.

GUPTA S., & BABU B., 2009, Utilization of waste product (tamarind seeds) for the removal of Cr(VI) from aqueous solutions: Equilibrium, kinetics and regeneration studies, Journal of Environmental Management, Vol 90, No. 10: 3013-3022.

HUANG K., XIU Y., & ZHU H., 2015, Removal of hexavalent chromium from aqueous solution by crosslinked mangosteen peel biosorbent, International Journal of Environment Science and Technology, No. 12: 2485-2492.

IQBAL M., SAEED A., & IQBAL S., FTIR spectrophotometry, kinetics and adsorption isotherms modeling ion exchange, and EDX analysis for understanding the mechanism of Cd²⁺ and Pb²⁺ removal by mango peel waste, Journal of Hazardous Materials, Vol. 164, No.1: 161-171.

JIANG R., TIAN J., ZHENG H., QI J., SUN S., & LI X., 2015, A novel magnetic adsorbent based on waste litchi peels for removing Pb(II) from aqueous solution, *Journal of Environmental Management*, Vol. 155: 24-30.

KOFALUSI G., AGUILAR G., 2006, Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final, *Gaceta ecológica* 79:39-51.

KURNIAWAN T., CHAN G., LO W., 2006, Comparisons of low-cost adsorbents for treating wastewaters laden with heavy metals, *Science of the Total Environment*, vol 366: 409– 426.

LASHEEN M., AMMAR N., & IBRAHIM H., 2012, Adsorption/desorption of Cd(II), Cu(II) and Pb(II) using chemically modified orange peel: equilibrium and kinetic studies, *Solid State Sciences*, Vol. 14, No.2: 202-210.

COLOMBIA, 1994, Ley 164 de 1994, "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático". República de Colombia. Publicado en el diario oficial 41.575 de octubre 28 de 1994.

LI X., TANG Y., CAO X., LU D., LUO F., & SHAO W., 2008, Preparation and evaluation of orange peel cellulose adsorbents for effective removal of cadmium, zinc, cobalt and nickel, Vol. 317, No. 1-3: 512-521.

LUGO-LUGO V., BARRERA-DIAZ C., UREÑA-NÚÑEZ, BILYEU B., & LINARES-HERNÁNDEZ L., 2012, Biosorption of Cr(III) and Fe(III) in single and binary systems onto pretreated orange peel, *Journal of Environmental Management*, Vol. 112, No.15: 120-127.

MALLAMPATI R., SHING TAN K., & VALIYAVEETIL S., 2015, Utilization of corn fibers and luffa peels for extraction of pollutants from water, *International Biodeterioration & Biodegradation*, Vol. 103, 8-15.

NAVARRO J., AGUILAR I., & LÓPEZ J., 2007, Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas, **Ecosistemas** vol 16, no.2:1-23.

NETZAHUATL A., CRISTIANI M., & CRISTIANI M., 2008, Reducción de Cr(VI) y biosorción de cromo por la cáscara de la semilla de Mamey, *Revista cubana de química*, Vol. 20, No.2: 3-9.

NGUYEN T, NGO W, GUO W, ZHANG J, LIANG S, YUE Q, LI Q, Applicability of agricultural waste and byproducts for adsorptive removal of heavy metals from wastewater. *Bioresource Technology*, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2013.08.124>.

ÖMEROGLU C., ÖZCAN A., ERDOGAN Y., & ÖZCAN A., 2012, Characterization of *Punica granatum* L. peels and quantitatively determination of its biosorption behavior towards lead(II) ions and Acid Blue 40, Colloidss and Surfaces B: Biointerfaces, Vol. 100, No.1: 197-204.

PINZÓN M., & CARDONA A., 2010, Influencia del pH en la Bioadsorción de Cr(III) sobre cáscaras de naranja: Determinación de las condiciones de operación en proceso discontinuo, *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, Vol. 8, No.1.

POPURI S., JAMMALA A., SURESH K., & ABBURI K., 2007, Biosorption of hexavalent chromium using (*Tamarindus indica*) fruit shell-a comparative study, *Electronic Journal of Biotechnology*, Vol.10, No. 3: 358-367.